

Projection exposure method for ultra large scale integration chip mfr. - diffracting exposure light beam to eliminate perpendicular incidence angle component

Patent number: DE4329803

Publication date: 1994-03-10

Inventor: KANG HO-YOUNG (KR); KIM CHEOL-HONG (KR);
CHOI SEONG-ON (KR); HAN WOO-SUNG (KR);
SOHN CHANG-JIN (KR)

Applicant: SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD (KR)

Classification:




- international: (IPC1-7): G03F7/20

- european: G03F1/14; G03F1/14D; G03F7/20A; G03F7/20T14;
G03F7/20T16

Application number: DE19934329803 19930903

Priority number(s): KR19930003019 19930227; KR19920016059 19920903;
KR19930013344 19930715

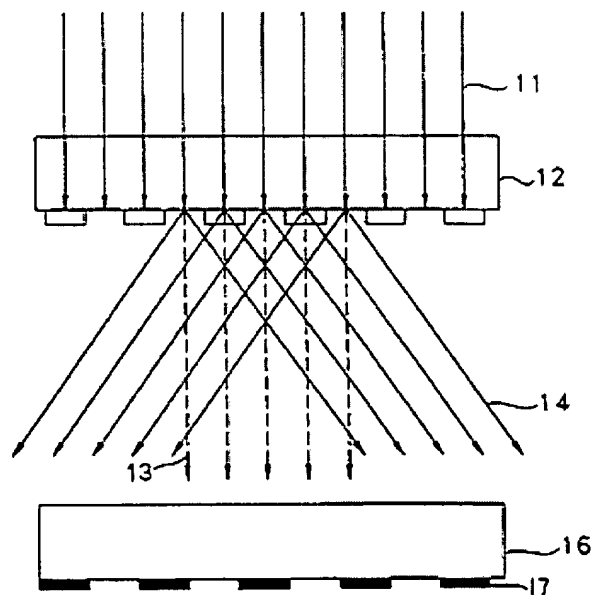
Also published as:

 US5446587 (A1) *
 JP6177011 (A)
 BE1007364 (A)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE4329803

The projection exposure method involves using a mask in the path of the exposure light beam, with the perpendicular component of the latter eliminated, to provide an angled incident light beam. Pref., the perpendicular light component is eliminated by zero order diffraction using an interference device, e.g. a diffraction grating applied to a transparent carrier (12) in the path of the exposure light beam. Pref. the obtained incident light beam comprises light of ± 1 diffraction order. **USE/ADVANTAGE** - Increased contrast for required resolution allowing fine structuring for mfr. of 64 Mb direct random access memory chip using essential parts of conventional exposure projection system.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 43 29 803 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 03 F 7/20

②1 Aktenzeichen: P 43 29 803.6
②2 Anmeldetag: 3. 9. 93
④3 Offenlegungstag: 10. 3. 94

DE 43 29 803 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1

03.09.92 KR 92-16059 27.02.93 KR 93-3019
15.07.93 KR 93-13344

⑦1 Anmelder:

Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon, KR

⑦4 Vertreter:

Wilhelm, H., Dr.-Ing.; Dauster, H., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 70174 Stuttgart

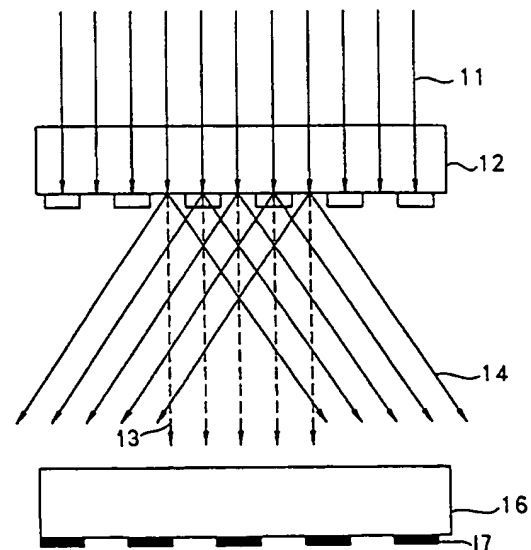
⑦2 Erfinder:

Kang, Ho-young, Suwon, KR; Kim, Cheol-hong,
Suwon, KR; Choi, Seong-oon, Suwon, KR; Han,
Woo-sung, Suwon, KR; Sohn, Chang-jin,
Kwangmyeong, KR

⑤4 Projektionsbelichtungsverfahren und -anlage sowie Maske hierfür

⑤7 Es ist bekannt, die Maskenprojektionsbelichtung eines Wafers dadurch zu verbessern, daß die senkrecht auf die Maske einfallende Lichtkomponente 0. Beugungsordnung durch ein vorgeschaltetes Filter abgefangen wird, wobei das verbleibende, schräg einfallende Licht die Belichtungseigenschaften verbessert.

Das neue Projektionsbelichtungsverfahren sieht vor, die senkrecht einfallende Lichtkomponente (13) durch Auslösen mittels Interferenz zu beseitigen, wozu eine Belichtungsanlage mit entsprechenden Mitteln, insbesondere eine Gitterstruktur auf einem transparenten Träger (12), versehen wird, die zur Generierung des schräg einfallenden Lichtes (14) zwischen einer Lichtquelle und einem die zu belichtenden Bereiche eines Objekts bestimmenden Muster (17) angeordnet sind. Die erzielbare Auflösung innerhalb eines Lithographieprozesses wird dadurch aufgrund des erhöhten Kontrastes verbessert, wobei auch die Tiefenschärfe erhöht wird. Dies ermöglicht die Erzeugung feiner Strukturen für 64 Mb DRAMs unter Verwendung wesentlicher Teile einer konventionellen Projektionsbelichtungsanlage. Herstellung von 64 Mb DRAM-Halbleiterbauelementen.



DE 43 29 803 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Projektionsbelichtungsverfahren, eine Projektionsbelichtungsanlage zu dessen Durchführung sowie auf eine Maske hierfür zur Belichtung eines Objektes in einem Lithographieprozeß bei der Halbleiterbauelementherstellung.

Zur Herstellung von ultrahochintegrierten (ULSI)-Chips mit einem Integrationsgrad von 64 Mb oder mehr sind eine Auflösung von $0,3\ \mu\text{m}$ sowie eine adäquate Tiefenschärfe (TS) erforderlich, weshalb sich mehrere neue Technologien zur Bildung von Strukturen mit Abmessungen geringer als einem halben Mikrometer in der Entwicklung befinden. Beispiele hierfür sind ein Verfahren, das einen Excimerlaser mit einer kleinen Lichtwellenlänge verwendet, ein Belichtungsverfahren, das eine phasenschiebende Maske verwendet, sowie ein Verfahren, das eine modifizierte Beleuchtung vorsieht, z. B. ein Schrägbeleuchtungsverfahren.

Bekanntermaßen sind die Auflösung (A) und die Tiefenschärfe (TS) einer optischen Projektionsbelichtung proportional zur Wellenlänge (λ) des verwendeten Lichts und umgekehrt proportional zur numerischen Apertur (NA) einer Linse, wie sich aus den Rayleigh-Beziehungen $A = k_1 \lambda / \text{NA}$ sowie $\text{TS} = k_2 \lambda / \text{NA}^2$ ergibt, wobei k_1 und k_2 anlagenabhängige Faktoren, d. h. Kohärenzfaktoren (ausgedrückt durch eine Größe σ , die einen Wert darstellt, der sich durch Division von NA_c einer Beleuchtungssystemlinse durch NA_0 eines optischen Projektionssystems ergibt), eines Beleuchtungssystems darstellen und üblicherweise zwischen 0,5 und 0,8 liegen. Wenn ein Kohärenzfaktor nicht null ist, sind die Werte von k_1 und k_2 nicht genau bekannt, da die Auflösung in hohem Maße vom Leistungsvermögen der Anlage beeinflusst ist.

Wenn Strukturen mit Abmessungen unterhalb von $0,3\ \mu\text{m}$ unter Verwendung des bisherigen Projektionsbelichtungsverfahrens zu erzeugen sind, ist wegen der großen Stufenhöhe des bearbeiteten Wafers sowie anderer Fehler eine Tiefenschärfe (TS) von mehr als $1,6\ \mu\text{m}$ erforderlich. Bei einem gegenwärtigen Stepper betragen, wenn die Belichtung unter Verwendung einer i-Linie erfolgt, die Auflösung (A) $0,47\ \mu\text{m}$ und die Tiefenschärfe (TS) $1,46\ \mu\text{m}$ bei Werten für λ von $0,365\ \mu\text{m}$, für k_1 von 0,65 und für k_2 von 1,0.

Um eine höhere Auflösung zu erreichen, muß NA vergrößert oder λ verkleinert werden. Bei Verwendung eines konventionellen KrF-Excimerlasersteppers mit einem NA-Wert von 0,54 (mit $\lambda = 0,248\ \mu\text{m}$) beträgt die Auflösung (A) $0,3\ \mu\text{m}$ und die Tiefenschärfe (TS) $0,85\ \mu\text{m}$. Da zwar demgemäß die Auflösung verbessert, die Tiefenschärfe jedoch verringert wird, sind bei Verwendung des gegenwärtigen Projektionsbelichtungsverfahrens Strukturen mit Abmessungen unterhalb von $0,3\ \mu\text{m}$ nur sehr schwer zu erzeugen, selbst wenn ein KrF-Excimerlaser verwendet wird.

Das Verfahren, das eine phasenschiebende Maske verwendet, ist aufwendig und kostspielig, da die Herstellung der phasenschiebenden Maske schwierig und mit merklichen Kosten verbunden ist.

Vor kurzem wurde ein Verfahren zur Resistbelichtung durch Schrägbeleuchtung (nachfolgend auch als modifiziertes Beleuchtungsverfahren bezeichnet) vorgeschlagen, bei dem ein Beleuchtungssystem verwendet wird, welches ein Filter zwischen einer Fliegenaugenlinse und einer Kondensorlinse vorsieht (siehe N. Shiraishi, S. Hirukuwa, Y. Takeuchi und N. Magome, New imaging technique for 64 Mb-DRAMs, Proceedings of

SPIE, Bd. 1674, Optical/laser Microlithography, S. 741, 1992). Dieses konventionelle modifizierte Beleuchtungsverfahren wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Fig. 1, 2A und 2B erläutert.

Fig. 1 veranschaulicht den Aufbau eines modifizierten Beleuchtungssystems einer konventionellen Projektionsbelichtungsanlage, das eine übliche Beleuchtungseinrichtung mit einer Lichtquelle (1), eine (nicht gezeigte) Projektionslinse, eine Fliegenaugenlinse (2) und eine Kondensorlinse (4) sowie ein zwischen den beiden Linsen befindliches Filter (3) aufweist. Mögliche Gestaltungen des Filters sind in den Fig. 2A und 2B gezeigt. Fig. 2A zeigt ein Ringbeleuchtungssystem und Fig. 2B ein Quadrupelbeleuchtungssystem. Wie in Fig. 1 gezeigt, werden die senkrechten Komponenten des einfallenden Lichtes von dem Filter abgefangen und nur schräg einfallende Lichtanteile beleuchten die Maske (5). Dies wird als Schrägbeleuchtungsverfahren bezeichnet.

Anhand der Fig. 3 und 4 wird die Schrägbeleuchtung genauer erläutert. Dabei ist ein konventionelles Projektionsbelichtungsverfahren gemäß Fig. 3 einem die obige Schrägbeleuchtungsmethode verwendenden Projektionsbelichtungsverfahren gemäß Fig. 4 gegenübergestellt.

Allgemein wird das einfallende Licht der Lichtquelle durch das Filter (3) hinter der Fliegenaugenlinse (2) in der Ebene begrenzt, die der Fouriertransformationsebene der Maske bezüglich der Kondensorlinse entspricht. Bei dem in Fig. 3 gezeigten konventionellen Projektionsbelichtungsverfahren ist das Beleuchtungslight in der Fouriertransformationsebene innerhalb eines ringförmigen Bereichs verteilt. Das Licht 0. Beugungsordnung liegt parallel zur optischen Achse (senkrecht einfallende Komponente), während das Licht +1. sowie -1. Beugungsordnung um den gezeigten Beugungswinkel (Θ) geneigt verläuft (schräg einfallende Komponente). Alle diese gebeugten Lichtstrahlen, d. h. das Licht 0., +1. und -1. Beugungsordnung, interferieren auf dem Wafer und tragen zur Bildentstehung bei.

Der Beugungswinkel (Θ) erhöht sich mit feiner werdenden Maskenstrukturen. Wenn $\sin(\Theta)$ größer als NA ist, erreicht das +1. und -1. Ordnung gebeugte Licht nicht mehr die Projektionslinse, woraufhin lediglich das 0. Ordnung gebeugte Licht durch die Projektionslinse hindurchtritt und die Waferoberfläche erreicht, so daß dann keine Interferenz auftritt. In diesem Fall gilt für die minimale Auflösung (A) die Beziehung $A = \lambda / 2 \text{ NA}$.

Bei der oben erwähnten Beleuchtung mit schrägem Einfallswinkel nach Fig. 4 beleuchtet das durch ein Filter hindurchgetretene Licht, da das Filter (3) in einer außermittigen Lage zur optischen Achse angeordnet ist, die Maske unter einem bestimmten schrägen Einfallswinkel. Der Einfallswinkel (α) ist durch den Abstand (X) zwischen der optischen Achse und einem transmittierenden Bereich des Filters und durch die Brennweite (f) der Kondensorlinse über die Beziehung $\sin(\alpha) = X$ bestimmt.

Das Licht zur Beleuchtung wird durch die Maskenstruktur gebeugt. Das Licht 0. Beugungsordnung wird bezüglich der optischen Achse um den Winkel Θ gebeugt, während die Beugungswinkel Θ_1 und Θ_2 zwischen dem Lichtweg des Lichtes +1. bzw. -1. Beugungsordnung und der optischen Achse folgende Beziehungen erfüllen:

$$\begin{aligned} \sin(\Theta_1) + \sin(\alpha) &= \lambda / \text{Pr} \\ \sin(\Theta_2) - \sin(\alpha) &= \lambda / \text{Pr} \end{aligned}$$

wobei P_r das Linien-zu-Abstand-Teilungsmaß der Maske ist.

In höheren Ordnungen gebeugtes Licht breitet sich entlang anderer Lichtwege aus. Da das Teilungsmaß des Musters fein und der Wert $\sin(\Theta_2)$ größer als die numerische Apertur (NA) der Projektionslinse auf der Maskenseite ist, erreicht Licht -1. und höherer Beugungsordnungen nicht die Projektionslinse. Im Ergebnis interferieren nur die Lichtanteile 0. und +1. Beugungsordnung auf der Waferoberfläche und tragen damit zur Bildentstehung bei. Der Bildkontrast beträgt ungefähr 90%, wenn die Maskenstrukturen Linien und Linienabstände im Verhältnis von 1 : 1 sind. Die Auflösung (A) ist hierbei durch die Beziehung $A = \lambda/2(NA + \sin(\Theta_1))$ definiert.

Bei einer gegebenen fünffachen Projektionsvergrößerung und einem Wert von $\sin(\Theta_1)$ in Höhe von $NA/2$ beträgt die waferseitige Auflösungsgrenze: $A = \lambda/2(NA + NA/2) = \lambda/3NA$.

Die Auflösungsgrenze ist damit um den Faktor 1,5 größer als diejenige des konventionellen Projektionsbelichtungsverfahrens. Desgleichen wird durch das oben beschriebene Beleuchtungsverfahren mit schrägem Lichteinfall die Tiefenschärfe (TS) verbessert.

Bei dem obigen konventionellen Beleuchtungsverfahren mit schrägem Lichteinfall ist bei Verwendung von Filtergestaltungen, wie sie in den Fig. 2A oder 2B gezeigt sind, die Fläche, durch die das Licht hindurchtritt, wesentlich kleiner als die Fläche, die das Licht zurückhält. Im Fall von Fig. 2A ist der Anteil des transmittierten Lichts gegeben durch den Ausdruck $(\sigma_p^2 - \sigma_i^2)/\sigma_p^2$, wobei im allgemeinen der Wert $\sigma_i = 2\sigma_p/3$ als bevorzugtester Wert angesehen wird, der zu einem Transmissionsanteil von 5/9 und somit zur Verdopplung der Belichtungszeit führt.

In dem in Fig. 2B gezeigten Fall ist der transmittierte Lichtanteil durch den Ausdruck $4\sigma_i^2/\sigma_p^2$ bestimmt, wobei $\sigma_i = \sigma_p/4$ gewählt ist, so daß der Belichtungsanteil 1/4 beträgt, was die Belichtungszeit vervierfacht und den Durchsatz erheblich reduziert.

Weil also das konventionelle modifizierte Beleuchtungssystem ein System darstellt, das aus dem konventionellen Beleuchtungssystem unter Hinzufügung eines Filters besteht, wodurch das transmittierte Licht des Beleuchtungssystems teilweise ausgeblendet wird, ist die Belichtungsintensität während dieser modifizierten Beleuchtung unbefriedigend. Es ergibt sich eine sehr lange Belichtungszeit, die auch die Gefahr der Fehlergenerierung im Belichtungssystem erhöht, was in einer Verschlechterung der Gleichmäßigkeit resultiert.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines Projektionsbelichtungsverfahrens, einer Projektionsbelichtungsanlage zur Durchführung dieses Verfahrens sowie einer für eine solche Belichtungsanlage geeignete Maske zugrunde, durch die sich feine Strukturen mit hoher Effizienz erzeugen lassen.

Dieses Problem wird durch ein Projektionsbelichtungsverfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, eine Projektionsbelichtungsanlage mit den Merkmalen des Patentanspruchs 11 sowie eine Maske mit den Merkmalen des Patentanspruchs 17 gelöst. Bei dem auf diese Weise ermöglichten Belichtungsverfahren löschen sich die senkrecht einfallenden Lichtkomponenten durch gegenseitige Interferenz aus, so daß nur die schräg einfallenden Lichtanteile verbleiben, d. h. das Licht 0. und 2. Beugungsordnung interferiert sich heraus, während sich das Licht 1. und 3. Beugungsordnung (und höherer ungeradzahlgiger Beugungsordnungen)

verstärkt. Gebeugtes Licht höherer als dritter Ordnung existiert nur selten. Da der größte Anteil transmittierten Lichtes erster Beugungsordnung ist, wird die Transmissionseffizienz beträchtlich erhöht, woraus sich eine Verbesserung der Auflösung und die Erzielung einer Tiefenschärfe (TS) bis zu $2,2 \mu m$ ergibt.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Nachfolgend beschriebene bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sowie zu deren besserem Verständnis die oben beschriebenen konventionellen Ausführungsformen sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Aufbaus eines modifizierten Beleuchtungssystems einer konventionellen Projektionsbelichtungsanlage,

Fig. 2A und 2B Draufsichten auf in dem Beleuchtungssystem der Fig. 1 verwendbare Filter,

Fig. 3 eine schematische Skizze zur Erläuterung eines konventionellen Projektionsbelichtungsverfahrens,

Fig. 4 eine schematische Skizze zur Erläuterung eines konventionellen Schrägbeleuchtungsverfahrens,

Fig. 5 eine schematische Teilansicht des Aufbaus eines erfindungsgemäßen Beleuchtungssystems,

Fig. 6A bis 6C schematische Skizzen zur Veranschaulichung und zum Vergleich der Lichtwege von Projektionsbelichtungssystemen nach einem konventionellen Belichtungsverfahren, einem modifizierten konventionellen Belichtungsverfahren und einem erfindungsgemäßen Belichtungsverfahren,

Fig. 7A und 7B Querschnitte zur Veranschaulichung des Anbringens erfindungsgemäßer Gittermasken an einer konventionellen, strukturierten Maske,

Fig. 8A und 8B Perspektivansichten zur Veranschaulichung der mit den erfindungsgemäßen Gittermasken nach den Fig. 7A und 7B versehenen konventionellen Masken,

Fig. 9A und 9B Perspektivansichten einer weiteren Ausführungsform, bei der eine konventionelle Maske mit einer erfindungsgemäßen Gittermaske versehen ist,

Fig. 10A und 10B Perspektivansichten eines weiteren Ausführungsbeispiels einer mit einer erfindungsgemäßen Gittermaske versehenen konventionellen Maske,

Fig. 11 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Maske,

Fig. 12 noch ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Gittermaske,

Fig. 13 verschiedene Ansichten zur genaueren Veranschaulichung der in Fig. 12 gezeigten Maske,

Fig. 14 noch ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Gittermaske,

Fig. 15 noch ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Maske,

Fig. 16 eine Perspektivansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer durch Anbringen einer erfindungsgemäßen Gittermaske an einer konventionellen Maske gebildeten Maske,

Fig. 17A bis 17D Perspektivansichten zur Veranschaulichung eines ersten Verfahrensbeispiels zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Maske,

Fig. 18 eine schematische Ansicht für ein zweites Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Maske,

Fig. 19A bis 19D Perspektivansichten zur Veranschaulichung eines Verfahrens zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Gittermaske,

Fig. 20 eine graphische Darstellung der sich für ein konventionelles und verschiedene erfindungsgemäße

Beleuchtungsverfahren ergebenden Tiefenschärfe und

Fig. 21 eine graphische Darstellung gemessener Strukturabmessungen in Abhängigkeit von den entwerfungsgemäß gewünschten Abmessungen unter Vergleich der Strukturbelichtung durch ein konventionelles und durch ein erfindungsgemäßes Projektionsbelichtungsverfahren.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die jeweiligen entsprechenden Zeichnungen detaillierter beschrieben.

Fig. 5 veranschaulicht einen Aufbau eines Beleuchtungssystems, das für ein erfindungsgemäß modifiziertes Beleuchtungsverfahren verwendet wird.

Eine chromfreie, phasenschiebende Maske (12) (nachfolgend als Gittermaske bezeichnet), d. h. eine Pseudomaske, auf der sich regelmäßig angeordnete Strukturen befinden (nachfolgend als Gitterstrukturen bezeichnet), die nicht auf einem Wafer abgebildet werden, ist vor einer konventionellen Chrommaske (16) angeordnet, die mit einem Muster (17), das mit dem in Fig. 5 gezeigten modifizierten Beleuchtungssystem (Projektionsbelichtungssystem) auf einen Wafer strukturerzeugend abgebildet wird, versehen ist. Die Gittermaske ist eine chromfreie, phasenschiebende Maske, die gebeugtes Licht ungerader Beugungsordnung erzeugt. Die senkrechte Komponente (13) des auf die Gittermaske (12) einfallenden Lichtes (11) interferiert destruktiv, während eine schräg einfallende Komponente (14) konstruktiv interferiert und den Wafer durch die konventionelle Chrommaske (16) hindurch beleuchtet. Demgemäß kann die Verwendung der obigen Gittermaske denselben Effekt wie das modifizierte Beleuchtungsverfahren hervorrufen, ohne daß wie bei diesem konventionellen modifizierten Belichtungsverfahren ein Filter zur Erzeugung des schräg einfallenden Lichtes hinzugefügt wird. Bei dem modifizierten konventionellen Beleuchtungsverfahren wird die Beleuchtungsintensität reduziert, da ein Teil des Lichts durch das Filter ausgeblendet wird. Bei der Erfindung wird hingegen die Effizienz hinsichtlich optischer Transmission verbessert, da der Anteil des ausgeblendeten Lichts klein ist und die Belichtung durch selektive Anwendung der schrägen Lichteinfallskomponente unter Verwendung der Gittermaske durchgeführt wird.

Mittels des erfindungsgemäß modifizierten Beleuchtungsverfahrens läßt sich für den Resistbelichtungsvorgang unter Verwendung der obigen Gittermaske eine Auslösung von 0,3 µm oder kleiner erzielen, und die Belichtungszeit ist im Vergleich mit derjenigen des modifizierten konventionellen Beleuchtungsverfahrens, das schräg einfallendes Licht verwendet, beträchtlich reduziert.

Fig. 6A bis 6C sind schematische Ansichten zur Veranschaulichung des jeweiligen Lichtwegs in verschiedenen Projektionsbelichtungssystemen, um das erfindungsgemäß modifizierte Beleuchtungsverfahren zu erläutern und mit einem konventionellen Beleuchtungsverfahren und einem modifizierten konventionellen Beleuchtungsverfahren zu vergleichen. Fig. 6A veranschaulicht ein konventionelles Beleuchtungsverfahren, Fig. 6B ein modifiziertes konventionelles Beleuchtungsverfahren und Fig. 6C das erfindungsgemäß modifizierte Beleuchtungsverfahren. In den obigen Figuren bezeichnen das Bezugszeichen (21) einen Halbleiterwafer, der das belichtete Objekt darstellt, das Bezugszeichen (23) eine Projektionsbelichtungslinse, das Bezugszeichen (25) eine Maske mit darauf gebildetem Muster, das Bezugszeichen (27) eine Gittermaske, das Bezugszeichen

(29) eine Kondensorlinse, das Bezugszeichen (30) ein Filter, durch das das von der Lichtquelle kommende Licht hindurchtritt, und das Bezugszeichen (31) ein Filter, wie es für das modifizierte Beleuchtungsverfahren verwendet wird und in Fig. 2B gezeigt ist. Die in den Fig. 6A und 6B gezeigten Beleuchtungsverfahren entsprechen den oben beschriebenen konventionellen Verfahren.

Das gezeigte erfindungsgemäße Projektionsbelichtungssystem beinhaltet die Gittermaske (27) zwischen der Lichtquelle und der bemusterten Maske (25) zur Beseitigung der senkrechten Lichteinfallskomponente.

Das sich durch Verwendung der obigen Gittermaske (27) ergebende Prinzip der Erhöhung der Auflösung wird aus folgendem verständlich.

Üblicherweise wird im Fall einer konventionellen, eine alternierende Phasenschiebung hervorruhenden Maske ein Phasenschieber alternierend in einer Maskenstruktur gebildet, um die Strukturperiode in (4A) zu ändern, wobei ein kleiner Wert für σ verwendet wird, um das senkrecht einfallende Licht zu benutzen. In einem solchen Fall interferiert das Licht 0. Beugungsordnung mit den zwei benachbarten Strukturen und wird dadurch ausgelöscht. Gleichzeitig trägt das Licht +1. und -1. Beugungsordnung zur Bildentstehung durch die Linse bei. Für die Auflösung (A) ergibt sich demgemäß $A = \lambda/4 \text{ NA}$. Wenn eine konventionelle phasenschiebende Maske verwendet wird, verstärkt sich das Licht +1. und -1. Beugungsordnung, während das Licht 0. Beugungsordnung interferiert und dadurch ausgelöscht wird, so daß ein hoher Kontrast erhalten wird. Wenn jedoch für eine konventionelle phasenschiebende Maske schräg einfallendes Licht verwendet wird, entsteht aufgrund nicht passender Phasendifferenz keine Offset-Interferenz, weshalb sich dann der Kontrast verringert.

Bei dem erfindungsgemäß modifizierten Beleuchtungsverfahren ist die Gittermaske (27) derart hergestellt, daß das Licht 0. Beugungsordnung destruktiv und das Licht 1. Beugungsordnung konstruktiv interferiert. Die obige Gittermaske wird so verwendet, daß das schräg einfallende Licht die Muster unter einem vorbestimmten Winkel beleuchtet.

Die Auflösung des erfindungsgemäß modifizierten Beleuchtungsverfahrens ist eine Funktion des schrägen Lichteinfallswinkels (Θ) bezüglich der Maske, wie auch bei dem konventionell modifizierten Beleuchtungsverfahren mit schrägem Lichteinfall. Wird das Teilungsmaß der Gitterstruktur der Gittermaske mit P_g bezeichnet, so ergibt sich für den Schrägeinfallswinkel $\Theta = \sin^{-1}(\lambda/P_g)$ und für die maximale Auflösung

$$A = \lambda/2 \text{ NA}(1 + \sin(\Theta_i)/\text{NA}) = \lambda/2 \text{ NA}(1 + \alpha)$$

mit $\alpha = \sin(\Theta_i)/\text{NA}$.

Bei dem modifizierten konventionellen Beleuchtungsverfahren kann α nicht gleich oder größer als σ werden. Demgegenüber ist α bei dem erfindungsgemäßen Beleuchtungsverfahren nicht dergestalt beschränkt und kann bis auf den Wert "1" eingestellt werden, indem die Gitterabmessungen geeignet gewählt werden.

Die obige Gitterperiode ist wie folgt bestimmt. Der maximale, vom Belichtungssystem verwendbare Winkel Θ kann durch die Beziehung $\Theta = \sin^{-1}(\text{NA}_i)$ ausgedrückt werden, wobei NA_i die einfallsseitige numerische Apertur ist und für eine gute Auflösung ein Winkel von ungefähr 0,2 Θ bis 0,8 Θ erforderlich ist.

Demgemäß wird die Gitterstrukturperiode bevor-

zugt zwischen $\lambda/\sin(0,2 \sin^{-1}(NA_i))$ und $\lambda\sin(0,8 \sin^{-1}(NA_i))$ gewählt, wobei λ die Wellenlänge des verwendeten Lichts und NA_i die numerische Apertur an der Eingangsseite des Belichtungssystems bezeichnen.

Da die Gitterstrukturperiode von der Empfindlichkeit und der Auflösung des verwendeten Photoresists abhängt, ist zur Erzielung eines maximalen Effekts eine Optimierung notwendig. Im allgemeinen gilt jedoch für die erforderliche Gitterperiode (P) der Phasenschiebung durch die Maske die Beziehung

$$P = \lambda\sin(0,5 \sin^{-1}(NA_i)) = \lambda\sin(\beta),$$

mit $\beta = 0,5 \sin^{-1}(NA_i)$, λ als der Wellenlänge des verwendeten Lichts und NA_i als der numerischen Apertur an der Eintrittsseite des Belichtungssystems, wobei angenommen ist, daß der Faktor 0,5 das Optimum darstellt.

Erfindungsgemäße Gittermasken werden durch die folgenden Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die entsprechenden Figuren näher erläutert.

Die Fig. 7A und 7B zeigen Querschnitte zur Veranschaulichung von an einer konventionellen Maske mit einem darauf gebildeten Muster angebrachten erfindungsgemäßen Gittermasken, während die Fig. 8A und 8B Perspektivansichten der mit den erfindungsgemäßen Gittermasken gemäß Fig. 7A und 7B versehenen konventionellen Masken darstellen.

Bezugnehmend auf die Fig. 7A, 7B, 8A und 8B bezeichnen das Bezugszeichen (41) einen Träger einer konventionellen Maske, das Bezugszeichen (43) ein aus Chrom bestehendes Muster zur Festlegung des belichteten Bereichs, das Bezugszeichen (45) einen Gittermaskenträger, das Bezugszeichen (47) eine Gitterstruktur, das Bezugszeichen (49) einen klebenden Tragring für die Gittermaske und das Bezugszeichen (51) ein doppelseitiges Klebeband, das die Gittermaske an der konventionellen Maske festlegt.

Die Gittermaske, die aus dem Gittermaskenträger (45) und der darauf gebildeten Gitterstruktur (47) besteht, wird durch Erzeugung des Gittermusters (47) auf dem aus Quarz, Sodakalkglas oder Borsilikatglas bestehenden Gittermaskenträger (45) erhalten. Die Gitterstruktur (47) wird durch ein konventionelles Verfahren zur Maskenstrukturierung gebildet, z. B. unter Verwendung eines Photoresists, durch Strukturierung unter Benutzung einer aufgeschleuderten Glasschicht oder durch Strukturierung der Rückseite (auf der das Muster nicht gebildet ist) eines aus Glas bestehenden Gittermaskenträgers (45). Die Dicke (d) der Gitterstruktur (47) wird hierbei so bestimmt, daß unter Berücksichtigung der verwendeten Wellenlänge, des verwendeten Maskenmaterials und des verwendeten Strukturmaterials das die Gittermaske transmittierende Licht eine Phasendifferenz von 180° erfährt. Die Lichtwegdifferenz (D) ergibt sich daher aus der Beziehung $D = 2\pi d(n-1)/\lambda$, wobei n der Brechungsindex des Strukturmaterials und λ die Wellenlänge des verwendeten Lichts ist.

Da zur Erzielung einer Interferenz eine Lichtwegdifferenz von π erforderlich ist, bestimmt sich die Dicke (d) der obigen Gitterstruktur zu $d = \lambda/2(n-1)$. Wie oben beschrieben, bildet die Gitterstruktur ein gleichmäßiges, periodisches Muster.

Fig. 7A veranschaulicht eine an einer konventionellen Maske angebrachte Gittermaske, wobei die mit der Gitterstruktur (47) versehene Fläche der Gittermaske der Rückseite der konventionellen Maske gegenüberliegt. Fig. 7B veranschaulicht eine an einer konventionellen

Maske angebrachte Gittermaske, wobei die nicht mit der Gitterstruktur (47) versehene Gittermaskenfläche der Rückseite des Trägers (41) der konventionellen Maske gegenüberliegt. Die erfindungsgemäße Gittermaske kann auf eine dieser beiden in den Fig. 7A und 7B gezeigten Weisen mit der konventionellen Maske verbunden werden.

Eine derartige Anbringung des Gittermaskenträgers (45) am Träger (41) der konventionellen Maske kann durch Verwendung von Klebemitteln, z. B. eines Epoxidharzes, eines Klebstoffs, einer Dichtungsmasse aus Silizium oder Silikon oder eines doppelseitigen Klebebandes realisiert werden. Die Verbindung zwischen dem Gittermaskenträger (45) und dem Träger (41) der konventionellen Maske kann durch ein Schmelzklebverfahren oder eine Klemmtechnik unter Verwendung einer Quarklemme erreicht werden.

Ferner beträgt der Abstand zwischen dem Gittermaskenträger (45) und dem Träger (41) der konventionellen Maske bevorzugt $1,0 \mu\text{m}$ oder mehr, um zu verhindern, daß sich die zwei Masken während des Schritts zu ihrer gegenseitigen Verbindung aneinander reiben. Zu diesem Zweck kann ein dickes Klebeband oder ein Membranrahmen als ein klebender Tragring (49) verwendet werden, wie dies in Fig. 7A gezeigt ist. Der Abstand zwischen dem Gittermaskenträger (45) und dem Träger (41) der konventionellen Maske kann hierbei sogar bis zu einigen Zehntel Millimetern betragen.

Fig. 9A und 9B zeigen Perspektivansichten eines weiteren Ausführungsbeispiels, bei dem die erfindungsgemäße Gittermaske an einer konventionellen Maske angebracht ist. Das Bezugszeichen (53) bezeichnet einen Membranrahmen, während alle anderen Bezugszeichen dieselbe Bedeutung wie in den Fig. 7A und 7B haben. Der Gittermaskenträger (45) ist wie im in Fig. 7A gezeigten Fall durch einen klebenden Tragring (49) an dem Träger (41) der konventionellen Maske angebracht, wobei in den Fig. 9A und 9B der Membranrahmen (53) als dieser klebende Tragring von Fig. 7A verwendet wird. Fig. 9A zeigt ein Beispiel, bei dem nach dem Aufbringen des Membranrahmens (53) auf die konventionelle Maske (41) die Gittermaske (45) anschließend auf den Membranrahmen (53) aufgebracht wird. Die in Fig. 9B gezeigte Maske entspricht derjenigen von Fig. 9A mit der Ausnahme, daß der Gittermaskenträger (45) auf dieselben Abmessungen wie der Membranrahmen (53) geschnitten und so auf den Membranrahmen (53) aufgebracht wurde.

Es ist nicht notwendig, für den Membranrahmen (53) eine neue Membran zu verwenden, da ein gebrauchter Membranrahmen, von dem der Rahmen abgenommen wurde, verwendbar ist. Auf diese Weise kann zum einen durch die Verwendung des Membranrahmens (53) als Tragring für den Gittermaskenträger (45) ein Abrieb zwischen den beiden Masken verhindert und zum anderen der gebrauchte Rahmen zur Materialeinsparung wiederverwendet werden.

Fig. 10A und 10B zeigen Perspektivansichten eines weiteren Ausführungsbeispiels, bei dem die erfindungsgemäße Gittermaske an einer konventionellen Maske angebracht ist. Die Bezugszeichen haben hierbei dieselbe Bedeutung wie in Fig. 9B.

Die in Fig. 10A gezeigte Gittermaske entspricht derjenigen von Fig. 9A mit der Ausnahme, daß sie dünner ist. Diese dünnere Ausgestaltung des Gittermaskenträgers (45) kann hierbei dadurch erzielt werden, daß die Gitterstruktur (47) nach wiederholtem Polierlappen des konventionellen, transparenten Trägers, so daß er abge-

schliffen wird, erzeugt wird oder daß die Rückseite des transparenten Trägers durch Polierlappen nach der Erzeugung der Gitterstruktur (47) auf dem Gittermaskenträger (45) abgeschliffen wird, wobei der Bereich, auf dem die Gitterstruktur (47) gebildet wurde, durch einen Polymerbeschichtungsprozeß geschützt wird.

Die in Fig. 10B gezeigte Gittermaske entspricht derjenigen von Fig. 10A mit der Ausnahme, daß nach der Erzeugung der Gitterstruktur (47) auf dem aus Quarz bestehenden Gittermaskenträger (45) der rückseitige Teil des Gittermaskenträgers (45) beschnitten wurde, bevor dann der Gittermaskenträger (45) an dem Träger (41) der konventionellen Maske angebracht wird.

Fig. 11 veranschaulicht ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Maske. Diese Maske wurde durch Erzeugung einer Gitterstruktur (47) auf der Rückseite eines Trägers einer konventionellen Maske erhalten, der vorderseitig mit einem konventionellen Chrommuster (43) versehen ist. Die Gitterstruktur (47) kann bei Verwendung eines Photoresists mit einem üblichen Belichtungsvorgang hergestellt werden. Wenn die Gitterstruktur (47) unter Verwendung eines Materials wie einer aufgeschleuderten Glasschicht (SOG) oder durch Ätzen des Substratmaterials selbst gebildet wird, ist innerhalb eines Photolithographieprozesses ein Ätzschritt für den Maskenträger durchzuführen. In diesem Fall sind selbstverständlich Einrichtungen zur Maskenätzung erforderlich.

Fig. 12 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Gittermaske. Die in Fig. 12 gezeigte Gittermaske entspricht der in Fig. 8B gezeigten mit der Ausnahme, daß Nuten (55), durch die das Licht zur Maskenjustierung geführt werden kann, in Kantenbereichen des Gittermaskenträgers (45) ausgebildet sind. Wenn nämlich die Belichtung durch das in Fig. 8B gezeigte Einfügen einer Gittermaske auf einer konventionellen Maske durchgeführt wird, kann sich die Lichtintensität verringern oder das Licht von der Grenzfläche der Masken reflektiert werden, falls wie in diesem Fall das Licht zur Maskenjustierung durch den Gittermaskenträger (45) und den Träger (41) der konventionellen Maske hindurchtreten muß. In einem solchen Fall können Fehler entstehen, wenn das Licht nicht mehr abgestastet werden kann. Um diese Schwierigkeit zu beheben, werden daher bevorzugt die Nuten (55) durch Einschneiden derjenigen Kantenbereiche des Gittermaskenträgers (45) gebildet, durch die das Licht zur Maskenjustierung hindurchtritt. Diese Nuten können durch Verwendung eines Ultraschallschneidgeräts oder einer Trennsägenvorrichtung gebildet werden.

Fig. 13 stellt Ansichten zur Erläuterung der in Fig. 12 gezeigten Maske in näherem Detail dar. Dabei sind mit "A" eine Draufsicht auf die Gittermaske von Fig. 12, mit "B" ein Querschnitt der Gittermaske entlang der in "A" gezeigten Linie X-X', mit "C" eine Draufsicht auf die konventionelle Maske von Fig. 12, mit "D" ein Querschnitt der konventionellen Maske entlang der in "C" gezeigten Linie Y-Y', mit "E" eine Draufsicht auf ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel der Maske mit miteinander verbundener Gittermaske gemäß "A" und konventioneller Maske gemäß "C" derart, daß die nicht mit der Gitterstruktur (47) versehene Seite des Gittermaskenträgers (45) der Rückseite des Trägers (41) der konventionellen Maske gegenüberliegt, und mit "F" ein Querschnitt der Maske gemäß "E" entlang der dort gezeigten Linie Z-Z' bezeichnet sind.

In "C" von Fig. 13 repräsentieren die Bezugszeichen (57 und 57') Justiermarken. Wie in dieser Figur zu sehen

ist, ist jeweils eine Nut (55) in dem Bereich des Gittermaskenträgers (45) ausgebildet, der demjenigen Bereich entspricht, in der die jeweilige Justiermarke angeordnet ist. Da der zur Justiermarke (57') gehörige Bereich sich in dem die Gitterstruktur enthaltenden Bereich befindet, ist in dem dieser Justiermarke (57') zugehörigen Bereich des Gittermaskenträgers (45) eine Öffnung (55') zu bilden.

Fig. 14 veranschaulicht ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Gittermaske. Die in Fig. 14 gezeigte Maske entspricht derjenigen von Fig. 13 mit der Ausnahme, daß der Gittermaskenträger, wie er in Fig. 9B gezeigt ist, derart angeordnet ist, daß die Seite, auf der die Gitterstruktur (47) gebildet ist, der Rückseite des Trägers (41) der konventionellen Maske gegenüberliegt. Dabei ist mit "A" eine Draufsicht auf die Maske und mit "B" ein Querschnitt entlang der in "A" gezeigten Linie Z-Z' bezeichnet.

Fig. 15 veranschaulicht ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Maske. Die in Fig. 15 gezeigte Maske entspricht derjenigen von Fig. 7A mit der Ausnahme, daß der Gittermaskenträger (45) eine größere Fläche aufweist als der Träger (41) der konventionellen Maske. Die größere Ausbildung des Gittermaskenträgers gegenüber dem Träger der konventionellen Maske erleichtert die manuelle Handhabung des Belichtungssystems.

Fig. 16 zeigt eine Perspektivansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Maske, bestehend aus einer erfindungsgemäßen, mit einer konventionellen Maske verbundenen Gittermaske. Dabei bezeichnen das Bezugszeichen (41) einen Träger einer konventionellen Maske, das Bezugszeichen (43) ein aus Chrom bestehendes Muster zur Festlegung des Belichtungsbereichs, das Bezugszeichen (45) einen Gittermaskenträger, das Bezugszeichen (46A) eine erste, in x-Achsenrichtung verlaufende Gitterstruktur und das Bezugszeichen (46B) eine zweite Gitterstruktur, die auf der gegenüberliegenden Seite des Gittermaskenträgers (45) gebildet ist und in der zur x-Richtung senkrechten y-Achsenrichtung verläuft.

Bei diesem Beispiel werden folglich die erste und die zweite Gitterstruktur (46, 50) auf der einen bzw. der anderen Seite desselben Gittermaskenträgers (40) angeordnet. Alternativ können zwei Gittermasken mit derselben Gitterstruktur miteinander so kombiniert werden, daß die Strukturen senkrecht zueinander verlaufen.

Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Maske werden nachfolgend anhand von speziellen Ausführungsbeispielen näher beschrieben.

Ausführungsbeispiel 1

Ein erstes Beispiel zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Maske wird anhand der Fig. 17A bis 17D erläutert.

Fig. 17A veranschaulicht einen Schritt zur Bildung einer Gitterstruktur (63). Eine Photoresistschicht wird auf einem Quarzwafer (61) mit einem Durchmesser von 6 Inch und einer Dicke von 0,1 mm bis 1 mm durch Aufbringen eines Photoresists in einer Dicke 0,1 µm bis 1 µm gebildet. Daraufhin wird ein (nicht gezeigtes) Photoresistmuster zur Bildung der Gitterstruktur (63) durch Strukturierung unter Verwendung eines NSR-1505i7A (Nikon-Warenzeichen) gebildet, wonach durch Ätzen des Quarzwafers (61) eine schachbrettartige Gitterstruktur (63) wie gezeigt entsteht. Nach einem Reinigungsvorgang wird das verbliebene Photoresistmuster

abgelöst.

Fig. 17B veranschaulicht einen Schritt zur Beschneidung des Quarzwafers und damit zur Bildung einer Gittermaske. Der Quarzwafer (61), auf dem die Gitterstruktur (63) erzeugt wurde, wird hierzu mittels einer Trennsägeeinrichtung oder eines Diamantmessers so beschnitten, daß seine Ausdehnung zu derjenigen eines Membranrahmens paßt, wodurch ein die Gitterstruktur (63) beinhaltender Gittermaskenträger (65) erhalten wird. Daraufhin wird eine Reinigung durchgeführt.

Fig. 17C veranschaulicht einen Schritt zur Anbringung des im obigen Schritt erhaltenen Gittermaskenträgers (65) auf einem Membranrahmen (67). Hierzu wird ein Membranrahmen (67) mit den Abmessungen 98 mm × 120 mm × 4 mm verwendet.

Nach Abtrennung des Membranrahmens (67) von einer zerstörten Membran wird der untere und der obere Rand des Membranrahmens (67) mit einem doppelseitigen Klebeband versehen und der Gittermaskenträger (65) anschließend in einem Reinraum auf den Membranrahmen (67) aufgeklebt.

Fig. 17D veranschaulicht einen Schritt zur Anbringung des Gittermaskenträgers (65) an einem konventionellen Maskenträger, auf dem ein konventionelles Chrommuster (71) gebildet wurde. Nachdem der Gittermaskenträger (65) auf eine Seite des Membranrahmens (67) aufgeklebt wurde, wird hierzu der Träger der konventionellen Maske, dessen Ausdehnung 5 Inch × 5 Inch × 0,09 Inch beträgt, derart angefügt (in einem kontinuierlichen Reinraumvorgang), daß die nicht mit der Gitterstruktur (63) versehene Seite des Gittermaskenträgers (65) der Rückseite des Trägers (69) der konventionellen Maske gegenüberliegt, wodurch die erfindungsgemäße Maske erhalten wird.

Ausführungsbeispiel 2

Ein zweites Beispiel zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Maske wird anhand von Fig. 18 erläutert.

Nach Aufbringen eines membranbildenden Materials, z. B. Nitrozellulose, in einer Dicke von 2 µm bis 3 µm auf eine Gittermaske mit einer nach dem Beispiel 1 erhaltenen Gitterstruktur wird eine Maskenschicht (83), auf der sich die Gitterstruktur (85) abgebildet hat, erhalten. Nach Ablösen der Maskenschicht (83) von der Gittermaske wird die Maskenschicht mit der Gitterstruktur (die dem umgekehrten Bild der Gittermaske von Beispiel 1 entspricht) anschließend an einem Träger (81) einer konventionellen Maske unter Verwendung desselben Membranrahmens (87) wie im Beispiel 1 und auch in derselben Weise angebracht.

Ausführungsbeispiel 3

Auf die Rückseite eines Quarzmaskenträgers, auf dem ein übliches Chrommuster gebildet ist, wird zur Bildung eines Photoresistmusters ein Photoresist in einer Dicke von ungefähr 0,1 µm bis 1 µm aufgebracht. Daraufhin wird eine Gitterstruktur unter Verwendung einer Elektronenstrahlbelichtungsanlage übertragen. Dann werden Prozesse wie Entwicklung, Quarzätzen und Photoresiststrukturablösung durchgeführt, um eine erfindungsgemäße Maske zu erhalten, die auf einer Seite des Maskenträgers die Gitterstruktur und auf der anderen Seite des Maskenträgers das konventionelle Chrommuster aufweist, wie dies in Fig. 11 gezeigt ist.

Ausführungsbeispiel 4

In diesem Beispiel wird zunächst, wie in Beispiel 1 oder 3 beschrieben, eine Gittermaske durch Erzeugung einer Gitterstruktur auf einem Quarzgittermaskenträger mit den Maßen 5 Inch × 5 Inch × 0,09 Inch erhalten. Die Gittermaske wird daraufhin unter Verwendung eines Membranrahmens in derselben Weise wie in Beispiel 1 an einem Träger einer konventionellen Maske gleicher Ausdehnung angebracht, um so eine erfindungsgemäße Maske zu erzeugen, wie sie in Fig. 9A gezeigt ist.

Ausführungsbeispiel 5

In diesem Beispiel wird eine erfindungsgemäße Maske auf dieselbe Weise wie im Beispiel 4 erhalten, mit der Ausnahme, daß die Rückseite des Gittermaskenträgers Polierlappvorgängen unterworfen wird, um die Dicke auf 0,09 Inch bis 0,03 Inch abzuschleifen.

Ausführungsbeispiel 6

Das sechste Ausführungsbeispiel zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Gittermaske wird anhand der Perspektivansichten der Fig. 19A bis 19D beschrieben.

Fig. 19A veranschaulicht einen Schritt zur Bildung eines ersten Photoresistmusters. Eine (nicht gezeigte) Photoresistschicht wird hierzu durch Aufbringen eines Photoresists auf einen Quarzmaskenträger (45) gebildet. Die Photoresistschicht wird auf dem Maskenträger (45) einer Lichteinwirkung (44) unterzogen und damit belichtet sowie anschließend entwickelt, wodurch das erste Photoresistmuster (42) zur Erzeugung einer ersten Gitterstruktur in x-Achsenrichtung entsteht.

Fig. 19B veranschaulicht einen Schritt zur Erzeugung der ersten Gitterstruktur in der x-Richtung. Die in x-Richtung verlaufend angeordnete erste Gitterstruktur (46A) wird hierbei durch Ätzen des Maskenträgers (45) unter Verwendung des ersten Photoresistmusters (42) als Ätzmaske gebildet.

Fig. 19C veranschaulicht einen Schritt zur Bildung eines zweiten Photoresistmusters. Hierzu wird zusätzlich in derselben Weise wie zu Fig. 19A beschrieben ein Photoresist auf die Rückseite des Maskenträgers (45) aufgebracht, um eine zweite Photoresistschicht zu bilden, die dann belichtet und entwickelt wird, so daß ein zweites Photoresistmuster (48) zur Erzeugung einer zweiten, in y-Achsenrichtung verlaufenden Gitterstruktur entsteht.

Fig. 19D veranschaulicht einen Schritt zur Bildung der zweiten Gitterstruktur (46B) in der y-Richtung. Die in y-Richtung verlaufend angeordnete zweite Gitterstruktur (46B) wird durch Ätzen des Maskenträgers (45) unter Verwendung des zweiten Photoresistmusters (48) als Ätzmaske gebildet.

Anschließend wird der Gittermaskenträger (45), der die in x- bzw. y-Richtung verlaufend angeordneten Gitterstrukturen (45A, 45B) besitzt, an der Rückseite eines Maskenträgers, der mit einem konventionellen Chrommuster versehen ist, unter Verwendung eines Membranrahmens angebracht, wodurch die in Fig. 16 gezeigte erfindungsgemäße Maske erhalten wird.

Strukturherzeugung

In einem Belichtungssystem mit einer numerischen Apertur (NA) von 0,5 und Verwendung einer i-Linie (λ

= 365 nm) liegt die konventionelle Auflösungsgrenze bei ungefähr 0,5 µm. Zur Gegenüberstellung wurden ein Muster unter Verwendung dieses konventionellen Belichtungs-systems nach einem konventionellen Projektionsbelichtungsverfahren sowie Muster unter Verwendung eines die in Fig. 6C gezeigte erfindungsgemäße Maske verwendenden Projektionsbelichtungs-systems nach einem erfindungsgemäßen Verfahren gefertigt.

Die unterschiedlichen Gitterstrukturen wurden hierbei auf einem jeweiligen Gittermaskenträger derart gebildet, daß die Lichtwegdifferenz 180° beträgt, wobei die Periodizität, d. h. die Gitterkonstante, der Gitterstrukturen variiert wurde. Jeder Quarzmaskenträger wurde hierzu so strukturiert, daß die Gitterstruktur eine Tiefe (t) von $0,365 \mu\text{m}/2(n-1)$ besitzt. Bei Verwendung eines erfindungsgemäßen Verfahrens gelang es, eine 0,28 µm-Struktur (ungefähr 0,38λ/NA) aufzulösen, während mit dem konventionellen Verfahren lediglich eine 0,36 µm-Struktur erreicht werden konnte.

Wenn der Belichtungsvorgang unter Verwendung der erfindungsgemäßen Maske durchgeführt wird, wird der senkrecht einfallende Lichtanteil durch gegenseitige Interferenz beseitigt, so daß nur eine schräge Einfallskomponente verbleibt, wie in Fig. 6C gezeigt ist, d. h. Licht nullter und zweiter Beugungsordnung interferiert und wird ausgelöscht, während Licht erster, dritter, ... Beugungsordnung verbleibt, wobei in der Praxis Licht höherer als dritter Beugungsordnung kaum vorhanden ist. Demgemäß wird der größte Anteil des transmittierten Lichtes vom Licht erster Beugungsordnung bereitgestellt, wobei die Transmissionseffizienz im Vergleich zum konventionellen Verfahren beträchtlich größer ist. Im Ergebnis wird die Auflösung auf 0,4 µm oder weniger verbessert und eine Tiefenschärfe (TS) von bis zum 2,2 µm erzielt.

Fig. 20 veranschaulicht graphisch den Verlauf der Tiefenschärfe (TS) für verschiedene, durch das obige konventionelle Verfahren und durch das erfindungsgemäße Belichtungsverfahren belichteten Muster in Abhängigkeit von der Linien/Abstands-Breite. Dabei gehört die mit Sternchen markierte Kurve zum konventionellen Belichtungsverfahren, während die Kurve mit dem Symbol ● den Fall einer Gitterstrukturbreite von 5 µm, die Kurve mit dem Symbol ○ den Fall einer Gitterstrukturbreite von 6 µm und die Kurve mit dem Symbol ■ den Fall einer Gitterstrukturbreite von 7 µm, jeweils für das erfindungsgemäße Verfahren, beschreiben. Wie aus Fig. 20 ersichtlich ist, wird bei der Bildung von Strukturen mit Abmessungen kleiner als einem halben Mikrometer die Tiefenschärfe bei der erfindungsgemäßen Vorgehensweise im Vergleich zur konventionellen Methode beträchtlich verbessert.

Wenn nach dem konventionellen Belichtungsverfahren eine Struktur unter Verwendung eines KrF-Excimersteppers mit 0,45 NA verwendet wird, kann eine 0,28 µm-Struktur erhalten werden. Demgegenüber läßt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine 0,22 µm-Struktur bei einer Tiefenschärfe von 2,0 µm erreichen. Zudem ergibt sich für die erzeugte Struktur eine ausgezeichnete Linearität, was die Effizienz des Belichtungsvorgangs erhöht.

Fig. 21 veranschaulicht graphisch tatsächlich gemessene Strukturabmessungen in Abhängigkeit von den entwurfsgemäß gewünschten Strukturabmessungen, wenn die Struktur durch ein konventionelles Verfahren bzw. ein erfindungsgemäßes Projektionsverfahren zur Objektbelichtung belichtet wurde. Die Symbole □ und ● in Fig. 21 gehören zu erfindungsgemäß erhaltenen

Strukturen, während die Sternchen zu den mit dem konventionellen Verfahren erhaltenen Strukturen gehören. Wie aus Fig. 21 ersichtlich ist, ist die Strukturlinearität bei Strukturabmessungen von 0,4 µm oder weniger erfindungsgemäß beträchtlich verbessert.

Wenn das Maskengitter nur mit einer Periodizitätsrichtung gebildet ist, wird die Auflösung, wie oben beschrieben, nur in dieser parallelen Struktur verbessert. Demgemäß wird eine Gruppierung der Gitterstruktur je nach Maskenmuster zur Erzielung der bestmöglichen Auflösung vorgesehen, um die vertikalen, horizontalen und geneigten Strukturen zu optimieren. Speziell für hochintegrierte Speicherbauelemente ist die Strukturgruppierung nicht schwierig und die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens einfach.

Außerdem kann die Auflösung, wenn eine sehr hohe Auflösung nicht erforderlich ist, dadurch verbessert werden, daß die in einem erfindungsgemäßen Beispiel beschriebene schachbrettartige Gitterstruktur erzeugt wird, wodurch eine Steigerung der vertikalen und der horizontalen Auflösung möglich ist.

Des weiteren ist es möglich, Gitterstrukturen beidseitig auf dem Gittermaskenträger zueinander senkrecht in x- bzw. y- Achsenrichtung verlaufend anzuordnen, was die gleichzeitige Verbesserung der Auflösung in x- und y-Richtung erlaubt.

Da wie oben beschrieben das erfindungsgemäße Beleuchtungsverfahren im Vergleich zu dem Verfahren, das ein konventionelles Filter verwendet, nur einen geringen Verlust an transmittiertem Licht verursacht, wird die Lichttransmissionseffizienz um 200% bis 400% (oder mehr) und damit die Produktivität erhöht, wobei wie beim konventionellen Verfahren der Effekt der Beleuchtung mit schräg einfallendem Licht erzielt wird.

Zudem verringert sich bei dem konventionellen Verfahren durch das Ausblenden von Licht mittels eines installierten Filters die Gleichmäßigkeit, während erfindungsgemäß kein derartiges Filter erforderlich ist und das Licht daher nicht in diesem Ausmaß abgefangen wird. Es tritt daher im erfindungsgemäßen Fall keine derartige Verschlechterung der Gleichmäßigkeit der Belichtungsintensität auf.

Außerdem ist, da lediglich durch Vorsehen einer Gittermaske oder durch Strukturieren einer weiteren Fläche einer konventionellen Maske in eine Gitterstruktur der Effekt modifizierter Beleuchtung in exzellenter Weise erreicht wird, erfindungsgemäß die Justierung zwischen einer phasenschiebenden Maske und der Maske für die Strukturübertragung nicht notwendig, was bedeutet, daß die Maske mit hoher Auflösung in vereinfachter Weise und mit geringem Aufwand herstellbar ist. Zudem kann durch Optimierung hinsichtlich der jeweiligen Gitterabmessung eine höhere Auflösung realisiert werden.

Wenn die Gittermaske der erfindungsgemäßen Maske an der konventionellen Maske unter Verwendung eines Membranrahmens als Tragring zwischen der Gittermaske und der konventionellen Maske angebracht wird, vermeidet dies Abrieb zwischen der Gittermaske und der konventionellen Maske.

Während die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf spezielle Ausführungsbeispiele gezeigt und beschrieben wurde, ist es klar, daß der Fachmann verschiedene Änderungen in Form und Detail vornehmen kann, ohne vom Umfang der Erfindung, wie er durch die beigefügten Patentansprüche festgelegt ist, abzuweichen.

Patentansprüche

1. Projektionsbelichtungsverfahren zur Belichtung eines Objekts unter Verwendung einer Maske (25), gekennzeichnet durch folgende Schritte:
 - Auslöschen einer senkrechten Lichteinfallskomponente (13) des von einer Lichtquelle kommenden Lichtes zur Erzeugung von schräg einfallendem Licht (14) und
 - Belichten des Objekts durch Einstrahlen des schräg einfallenden Lichtes (14) auf die Maske.
2. Projektionsbelichtungsverfahren nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Auslöschen der senkrechten Lichteinfallskomponente (13) durch Interferenz des Lichtes 0. Beugungsordnung erfolgt.
3. Projektionsbelichtungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das schräg einfallende Licht (14) Licht ungerader Beugungsordnung ist.
4. Projektionsbelichtungsverfahren nach Anspruch 3, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das schräg einfallende Licht (14) Licht + 1. und/oder - 1. Beugungsordnung ist.
5. Projektionsbelichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das schräg einfallende Licht (14) durch Anordnen einer Gitterstruktur (27; 46A, 46B; 47) im lichteinfallseitigen Bereich der Maske (25; 41) generiert wird.
6. Projektionsbelichtungsverfahren nach Anspruch 5, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur (46A, 46B; 47) ganzflächig auf der lichteinfallseitigen Fläche der Maske (41) gebildet ist, um die auf die Maske senkrecht einfallenden Lichtkomponenten (13) vollständig auszulöschen.
7. Projektionsbelichtungsverfahren nach Anspruch 5, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur (47) auf einem Teilbereich der lichteinfallseitigen Fläche der Maske (41) gebildet wird, um die senkrecht auf die Maske einfallenden Lichtkomponenten (13) teilweise auszulöschen.
8. Projektionsbelichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Periode der Gitterstruktur (46A, 46B; 47) zwischen $\lambda / \sin(0,2 \sin^{-1}(NA_i))$ und $\lambda / \sin(0,8 \sin^{-1}(NA_i))$ beträgt, wobei mit λ die Lichtwellenlänge und mit NA_i die lichteinfallseitige numerische Apertur einer Projektionsbelichtungsanlage bezeichnet ist.
9. Projektionsbelichtungsverfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das schräg einfallende Licht (14) durch Verwendung einer Gittermaske generiert wird, die auf einem transparenten Träger (45) erzeugte Gitterstruktur (46A, 46B; 47) beinhaltet.
10. Projektionsbelichtungsverfahren nach Anspruch 9, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur (46A, 46B; 47) ganzflächig oder bereichsweise auf dem Träger (45) gebildet wird.
11. Projektionsbelichtungsanlage zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit
 - einer Lichtquelle und
 - ersten Mitteln (29) zur Einstrahlung des von der Lichtquelle kommenden Lichts auf eine Maske (25), gekennzeichnet durch

- zweite Mittel (27) zur Erzeugung schräg einfallenden Lichtes (14) durch Auslöschen einer senkrecht einfallenden Lichtkomponente (13) zwischen der Lichtquelle und der Maske.
12. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 11, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Mittel eine Kondensorlinse (29) beinhalten.
 13. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 12, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Mittel (27) zwischen der Kondensorlinse (29) und der Maske (25) angeordnet sind.
 14. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 11 bis 13, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Mittel aus einer phasenschiebenden, chromfreien Maske (27) mit einer darauf gebildeten Gitterstruktur (46A, 46B; 47) mit regulären Mustern besteht, durch die das Licht 0. Beugungsordnung interferiert und aufgrund einer Phasendifferenz des Lichtes ausgelöscht wird.
 15. Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 11 bis 13, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die zweiten Mittel durch eine auf der lichteintrittsseitigen Fläche der Maske (41) gebildete Gitterstruktur (46A, 46B; 47) mit regulären Mustern gebildet sind, wodurch das Licht 0. Beugungsordnung interferiert und durch eine Phasendifferenz des Lichtes ausgelöscht wird.
 16. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 15, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur (46A, 46B; 47) ganzflächig oder bereichsweise auf der Maske (41) als sich in gleichmäßigem Abstand wiederholende Linienanordnung gebildet ist.
 17. Maske, insbesondere zur Verwendung in einer Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 11 bis 16, gekennzeichnet durch
 - einen transparenten Träger (41, 45) und
 - eine als reguläres Muster auf dem Träger (41, 45) gebildete Gitterstruktur (46A, 46B; 47) zur Lichtinterferenz aufgrund von Phasendifferenzen des Lichts derart, daß Licht ungerader Beugungsordnungen durch Interferenz ausgelöscht und Licht geradzahligter Beugungsordnungen verstärkt wird.
 18. Maske nach Anspruch 17, weiter dadurch gekennzeichnet, daß durch die Gitterstruktur (46A, 46B; 47) das Licht 0. Beugungsordnung zur Auslöschung einer senkrechten Lichteinfallskomponente (13) destruktiv interferiert, wobei die schrägen Lichteinfallskomponenten (14) + 1. und/oder - 1. Beugungsordnung verstärkt werden.
 19. Maske nach Anspruch 17 oder 18, weiter dadurch gekennzeichnet, daß sie eine chromfreie phasenschiebende Maske (27) ist.
 20. Maske nach einem der Ansprüche 17 bis 20, weiter dadurch gekennzeichnet, daß mit λ als Lichtwellenlänge und NA_i als lichteinfallseitiger numerischer Apertur einer Belichtungsanlage die Gitterstrukturperiode zwischen $\lambda / \sin(0,2 \sin^{-1}(NA_i))$ und $\lambda / \sin(0,8 \sin^{-1}(NA_i))$ beträgt.
 21. Maske nach einem der Ansprüche 17 bis 20, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur eine schachbrettartig alternierende Phasendifferenz hervorruhend ausgebildet ist.
 22. Maske nach einem der Ansprüche 17 bis 21, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Träger (41, 45) aus Sodakalkglas, Borsilikatglas oder Quarz besteht.

23. Maske nach einem der Ansprüche 17 bis 22, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur ein auf einer Seite eines Trägerteils (45) in regelmäßigen Abständen in x-Richtung verlaufend angeordnetes erstes Gittermuster (46A) beinhaltet. 5
24. Maske nach Anspruch 23, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Maske des weiteren ein auf der gegenüberliegenden Seite des Trägerteils (45) angeordnetes zweites Gittermuster (46B) aufweist, welches dieselbe Intervallbreite wie das erste Gittermuster (46A) aufweist und in der zur x-Richtung senkrechten y-Achsenrichtung verlaufend angeordnet ist. 10
25. Maske nach einem der Ansprüche 17 bis 24, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur (46A, 46B; 47) durch Strukturbildung an der lichteinfallseitigen Fläche des transparenten Trägers (41, 45) erzeugt wird. 15
26. Maske nach einem der Ansprüche 17 bis 25, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur (46A, 46B; 47) aus einem anderen Material besteht als der transparente Träger (41, 45). 20
27. Maske nach Anspruch 26, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterstruktur (85) durch Strukturierung einer Membran (83) erzeugt wird. 25
28. Maske nach einem der Ansprüche 17 bis 27, weiter dadurch gekennzeichnet, daß auf der der Gitterstruktur (46A, 46B; 47) gegenüberliegenden Seite des transparenten Trägers (41, 45) ein Muster (43) zur Festlegung eines zu belichtenden Bereiches eines Objekts gebildet ist. 30
29. Maske nach Anspruch 28, weiter dadurch gekennzeichnet, daß sie einen ersten transparenten Trägerteil (41), auf dem das Muster (43) zur Festlegung des zu belichtenden Objektbereichs gebildet ist, sowie einen zweiten transparenten Trägerteil (45) aufweist, der an der lichteinfallseitigen, nicht mit dem Muster versehenen Fläche des ersten Trägerteils angebracht ist und auf dem die Gitterstruktur (46A, 46B; 47) gebildet ist. 35
30. Maske nach Anspruch 29, weiter gekennzeichnet durch einen Tragring bildende Klebemittel (53) zwischen dem ersten und dem zweiten Trägerteil (41, 45) zur Anbringung und Stützung des zweiten transparenten Trägerteils (45) am ersten transparenten Trägerteil (41). 40
31. Maske nach Anspruch 29 oder 30, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite transparente Trägerteil (41, 45) dieselben Abmessungen aufweisen. 45
32. Maske nach Anspruch 29 oder 30, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der zweite transparente Trägerteil (45) größer als der erste transparente Trägerteil (41) ist. 50

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

FIG. 1

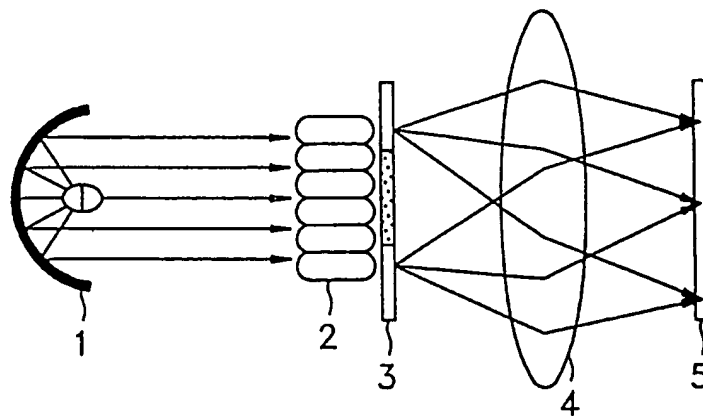


FIG. 2A

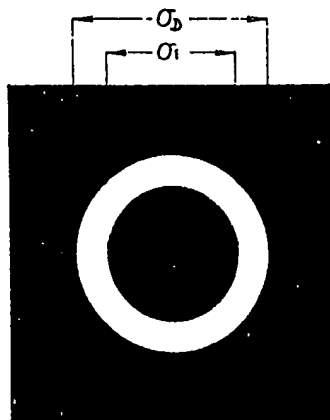


FIG. 2B

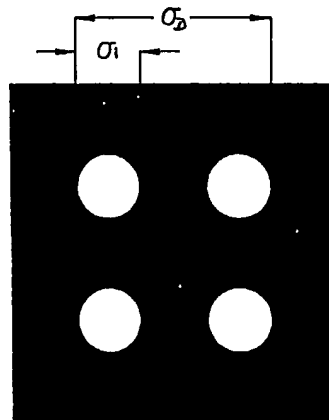


FIG. 3

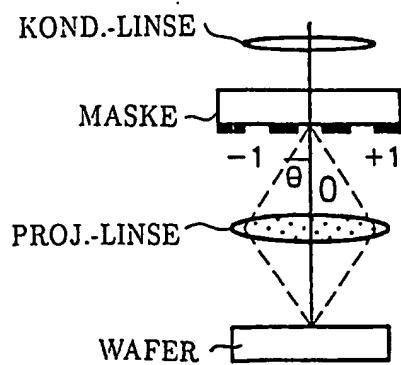


FIG. 4

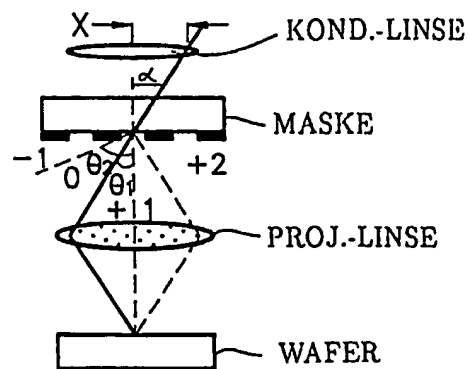


FIG. 5

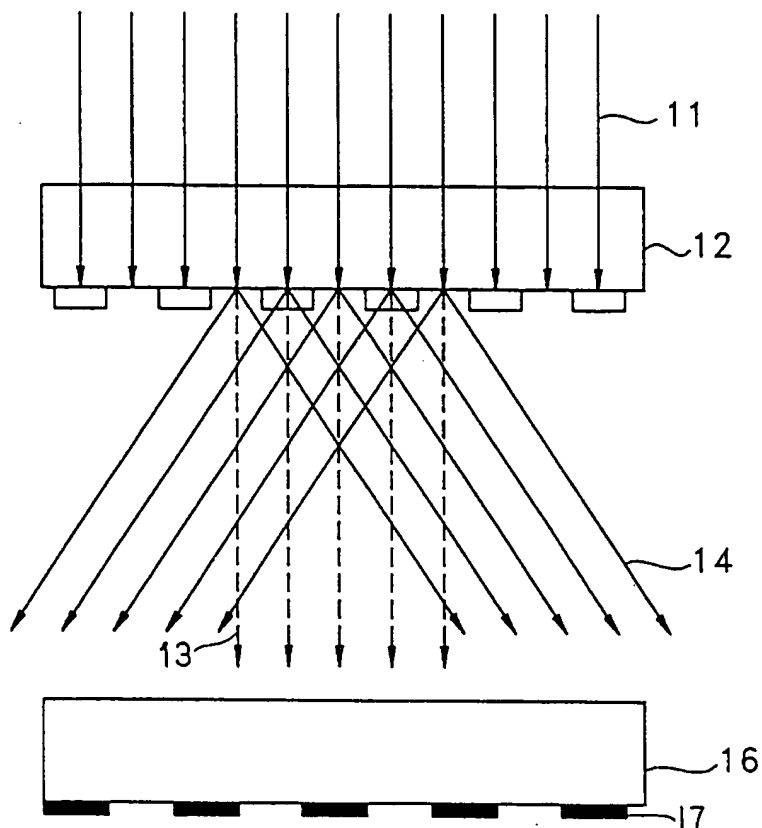


FIG. 6A

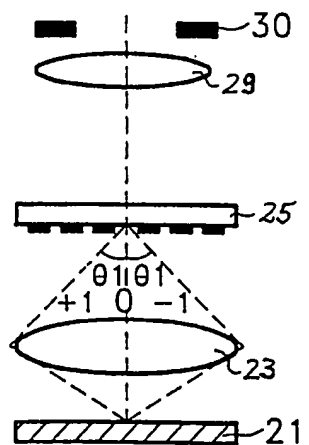


FIG. 6B

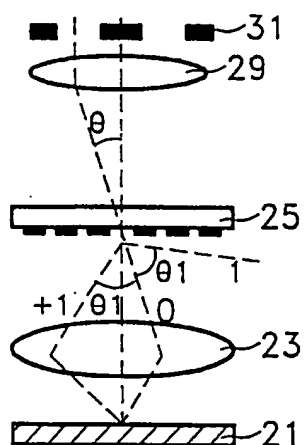


FIG. 6C

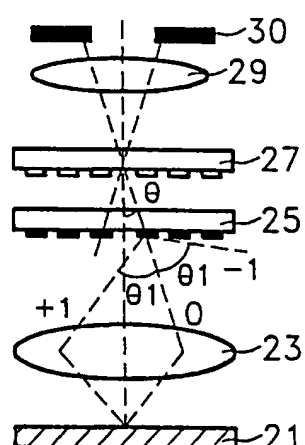


FIG. 7B

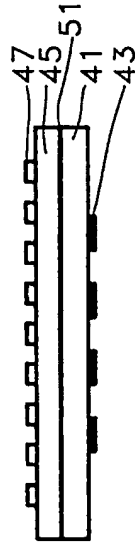


FIG. 8B

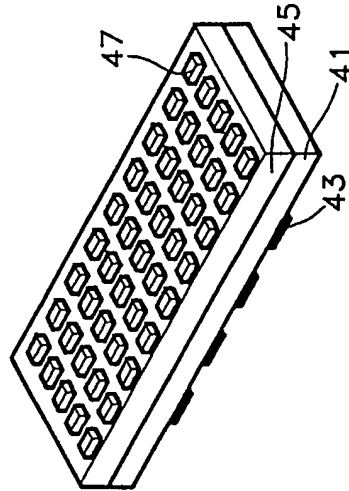


FIG. 7A

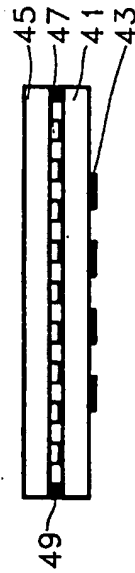


FIG. 8A

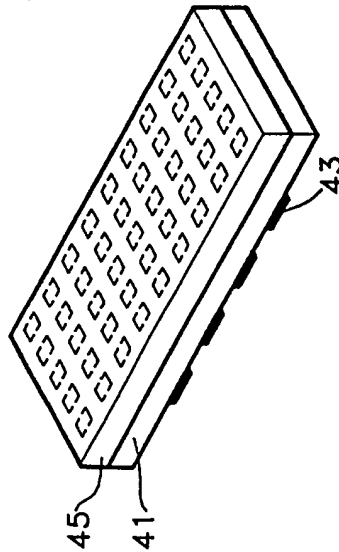


FIG. 9A

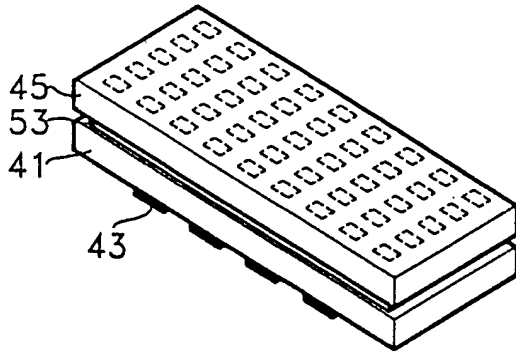


FIG. 9B

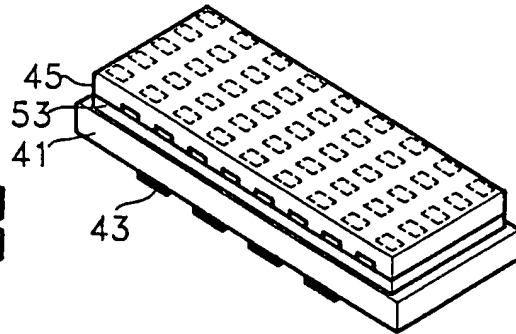


FIG. 10A

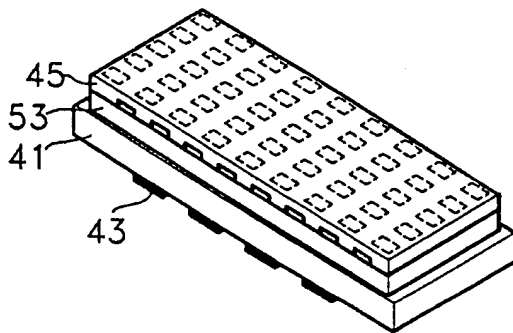


FIG. 10B

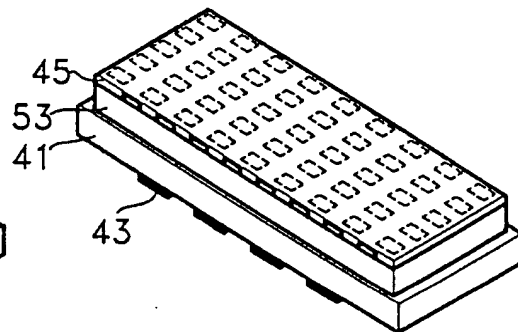


FIG. 11

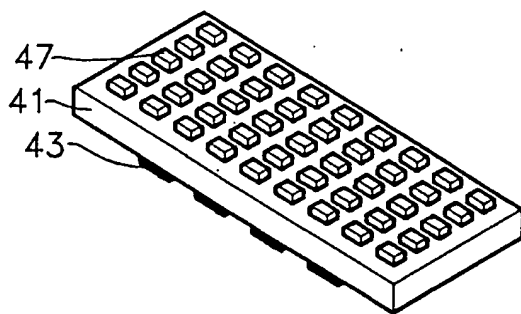


FIG. 12

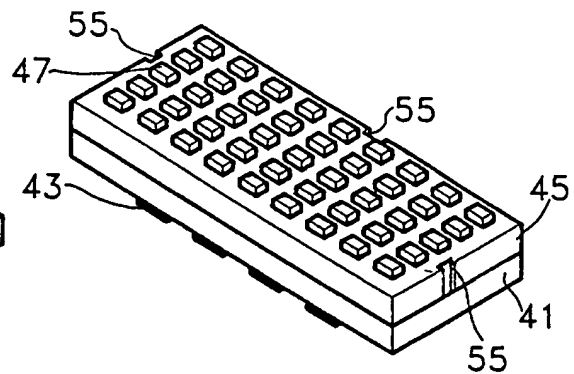


FIG. 13

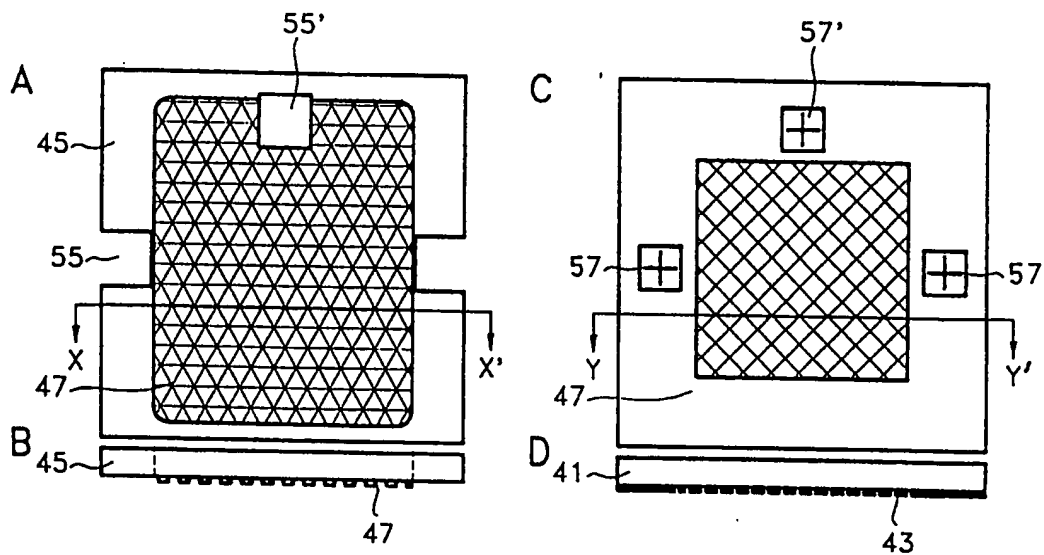


FIG. 14

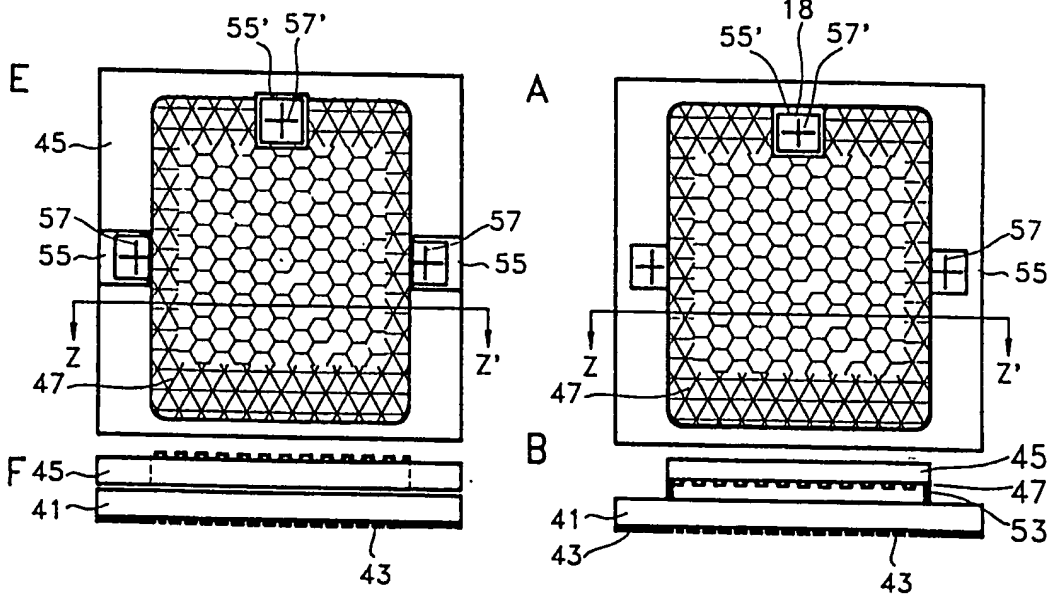


FIG. 15

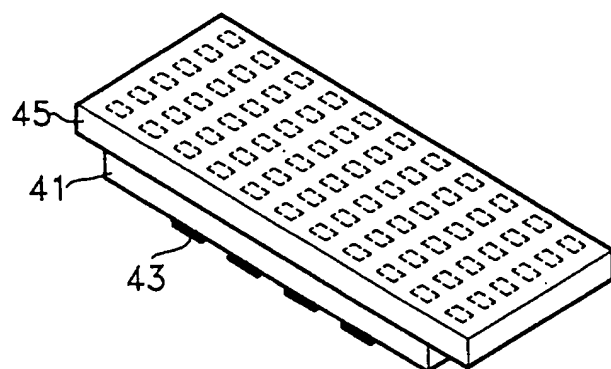


FIG. 16

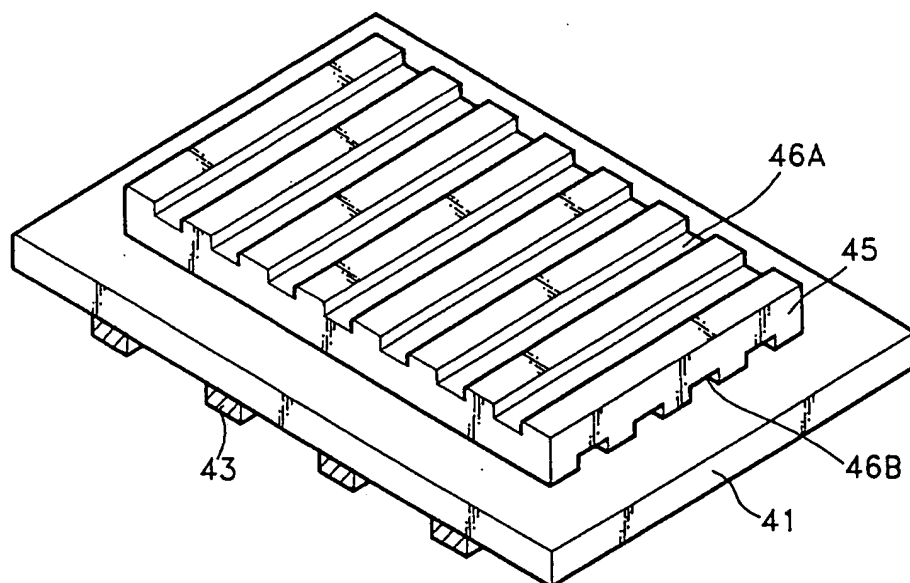


FIG. 17A

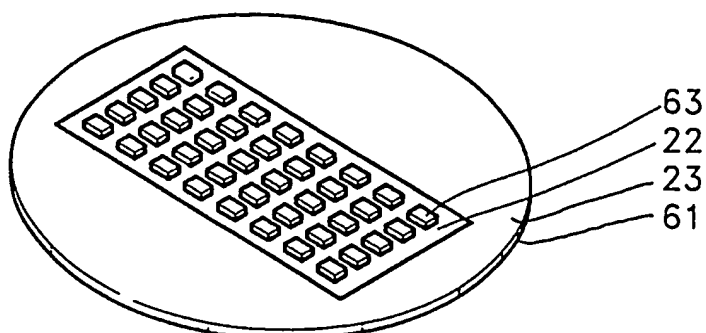


FIG. 17B

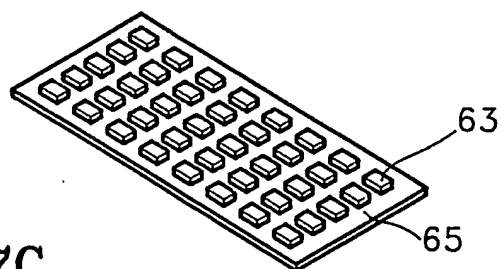


FIG. 17C

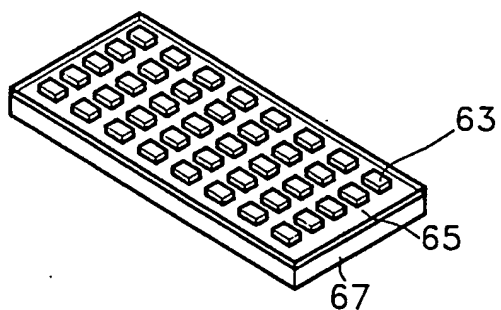


FIG. 17D

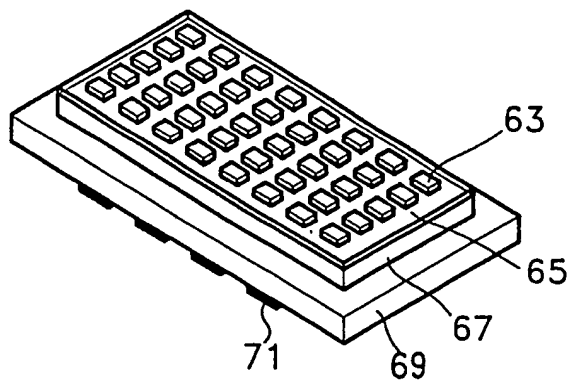


FIG. 18

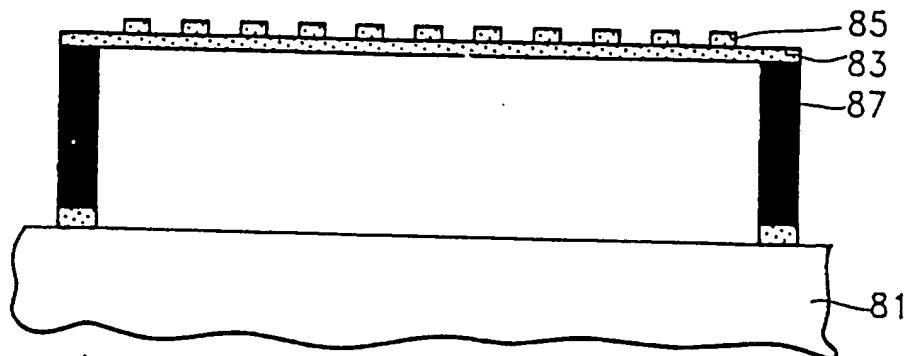


FIG. 20

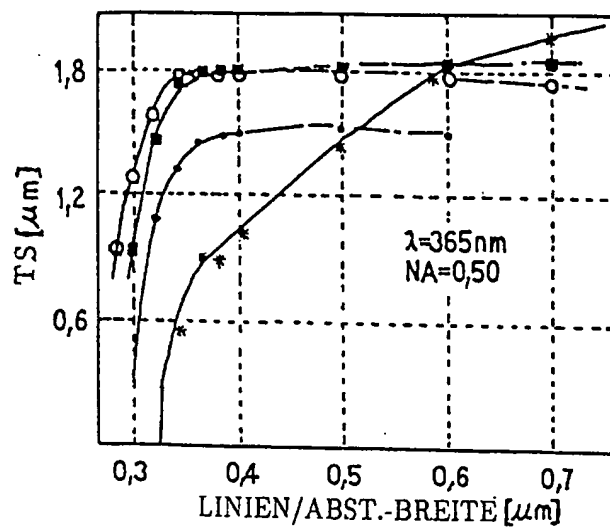


FIG. 21

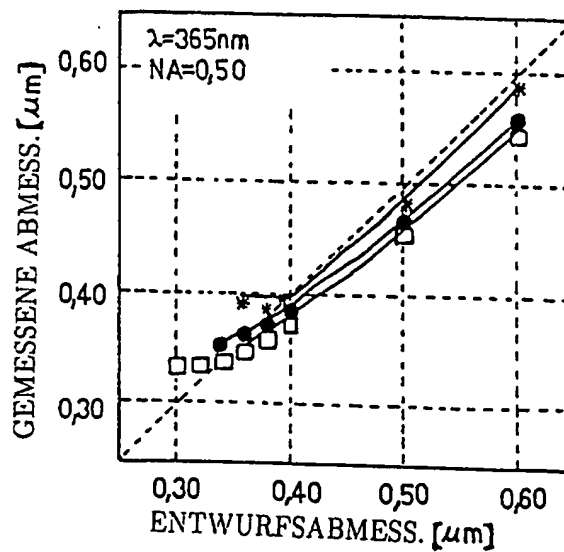


FIG. 19A

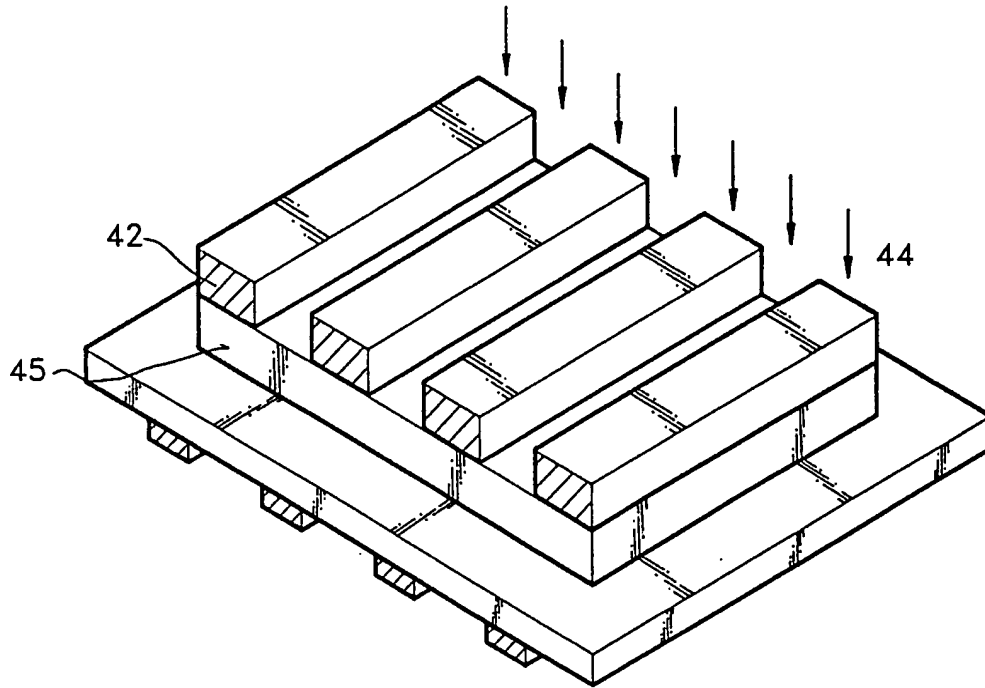


FIG. 19B

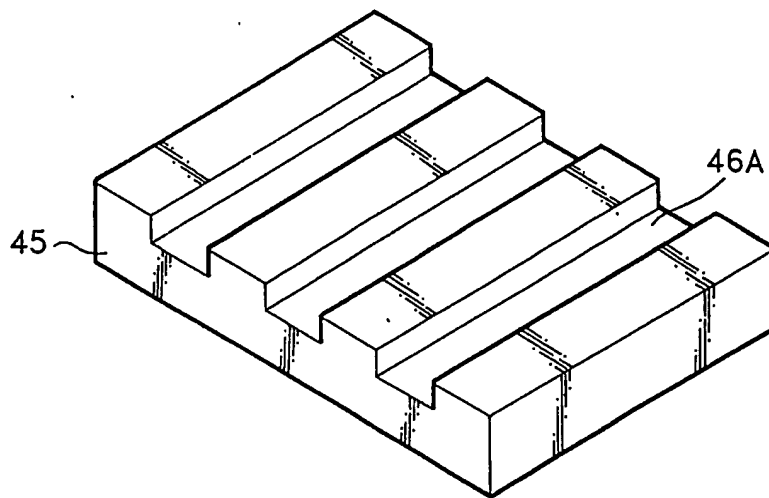


FIG. 19C

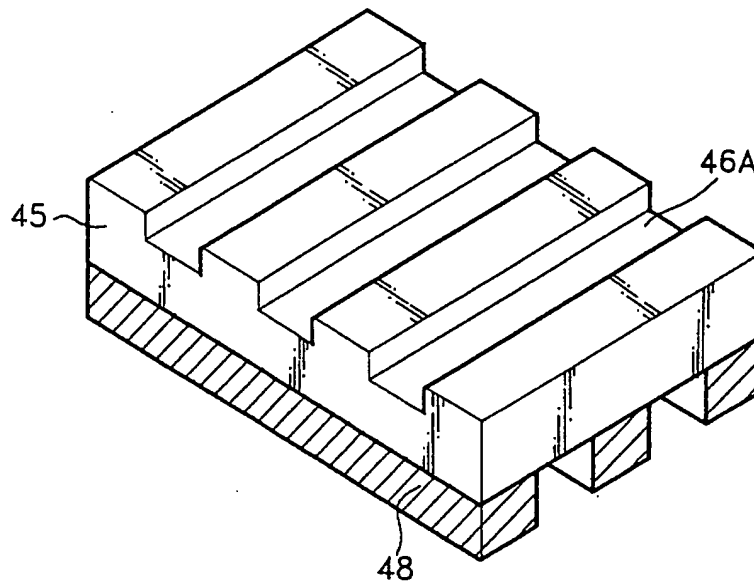


FIG. 19D

